

УДК 550.385

МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИЗНАКИ В СТРУКТУРЕ ГЕОМАГНИТНЫХ ВАРИАЦИЙ В ПЕРИОД ПОДГОТОВКИ СИЛЬНЕЙШЕГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 25 МАРТА 1998 г. В АНТАРКТИДЕ

В.Г. Бахмутов, Ф.И. Седова, Т.А. Мозговая

*Институт геофизики им.С.И.Субботина НАН Украины, пр.Палладина 32, 03680 Киев,
E-mail: bakhm@igph.kiev.ua*

Реферат. В связи с сильным землетрясением в Антарктиде 25 марта 1998 года проведен анализ геомагнитных вариаций по наблюдениям на станциях, разнесенным по долготе и широте. Описаны морфологические эффекты в структуре вариаций геомагнитного поля в связи с коровыми и глубокофокусными землетрясениями. Результаты подтверждают полученные ранее авторами зависимости между геомагнитной активностью и основными характеристиками землетрясений (M , h) в очагах Альпийско-Гималайского пояса сейсмичности. Толчки происходят в основном при пониженных значениях экстремальных часовых значений H -компоненты поля. Подтверждается линейная связь между периодом пульсаций и глубиной очага. Отмечен локальный эффект в магнитуде землетрясения 25 марта 1998 года в связи с координатами его очага.

Морфологічні ознаки в структурі геомагнітних варіацій у період підготовки надзвичайно сильного землетрусу 25 березня 1998 р. в Антарктиді. В.Г. Бахмутов, Ф.І. Седова, Т.О. Мозгова

Реферат. У зв'язку з сильним землетрусом в Антарктиді 25 березня 1998 року проаналізовано геомагнітні варіації за спостереженнями на станціях, віддалених по довготі і широті. Описано морфологічні ефекти в структурі варіацій геомагнітного поля пов'язані з коровими і глибокофокусними землетрусами. Результати підтверджують отримані авторами раніше залежності між геомагнітною активністю і основними характеристиками землетрусів (M , h) у вогнищах Альпійсько-Гімалайської зони сейсмичності. Поштовхи відбуваються в основному при знижених значеннях екстремальних часових значень H -компоненти поля. Підтверджується лінійний зв'язок між періодом пульсацій і глибиною вогнища. Помічено локальний ефект у магнітуді землетрусу 25 березня 1998 року пов'язаний з координатами його вогнища.

Morphological analysis of geomagnetic variations in preparation period of the strongest earthquake of 25 March 1998 by V.G. Bakhmutov, Sedova F.I., Mozgova T.A.

Abstract. An analysis of geomagnetic variations associated with the powerful earthquake on 25.03.1998 in Antarctica has been carried out. The geomagnetic variations were observed at the magnetic stations located in the different regions. The results confirm the dependence between geomagnetic activity and the main characteristics of earthquakes (M , h) in Alpien-Himalaya seismic zone, revealed by the authors earlier. The shocks occur mainly under the extreme low values of H -component. The PcS-pulsations and focal depth linear relation was confirmed. The local effect in the magnitude of the 25.03.1998 earthquake due to its focal coordinates was noted.

Key words: earthquake, geomagnetic variations, PcS-pulsations, Antarctica.

1. Введение

Давно отмеченная связь сильных землетрясений с магнитными бурями побудила исследователей к поискам их предвестников в геомагнитном поле. Наиболее интенсивные сейсмические проявления отмечаются чаще всего в равноденствие, которое также характеризуется наиболее сильными геомагнитными бурями (Барсуков, 1991; Сытинский, 1987). Теоретически модель подготовки землетрясения в конкретном регионе предполагает существование в качестве предвестника тектономагнитного эффекта в виде вариаций, обусловленных внутренним источником, расположенным в земной коре. Другим подходом является изучение внешней причины землетрясений, так как геоэффективное воздействие Солнца и межпланетного магнитного поля влияет на сейсмическую активность Земли.

Разнохарактерность геомагнитных возмущений, которая также зависит от вышеназванных процессов, чрезвычайно затрудняет выявление признаков, с проявлением которых связаны землетрясения. Во многих случаях отмечается линейная зависимость основных характеристик землетрясений (магнитуды, глубины очага) от геомагнитной активности, однако землетрясения происходят и в магнитоспокойные дни (Кузнецова и др., 1997; Kuznetsova et al.; 1999). Таким образом, существуют полярные мнения ученых по этой проблеме – от отрицания принципиальной возможности прогнозирования до возможности оперативных прогнозов (Моргунов, 1999).

Предполагая, что геомагнитные возмущения только способствуют реализации землетрясения, авторы направили свои исследования на выявление морфологических признаков в геомагнитном поле до и во время землетрясения.

2. Предпосылки для постановки задачи

Если геомагнитное поле воздействует на земную среду только энергетически, то признаки такого воздействия должны проявляться в макро или в микроструктуре вариаций, по крайней мере, в момент землетрясения. Здесь не идет речь о прогнозе землетрясений, так как, даже если выявить в геомагнитном поле морфологические признаки, предшествующие толчку, остаются неопределенными его координаты. В какой-то мере с глубиной очага землетрясения связан период геомагнитных PcS пульсаций. Как показано нами в (Kuznetsova et al.; 1999), линейные зависимости между периодом пульсаций и глубиной очага проявляются лучше для каждой очаговой зоны, а не для всего пояса сейсмичности в целом. Отмечено, что в подготовительной фазе землетрясения электропроводность в очаге меняется, а динамика электропроводности пород на различных глубинах обусловлена сейсмичностью района (Харечко и др., 1980).

По наблюдениям на геофизических станциях Украины установлено, что при всей разнохарактерности поведения геомагнитных вариаций, обусловленной внешними факторами, в структуре поля присутствуют определенные морфологические признаки, с которыми связана вероятность реализации землетрясения. В частности показано, что за амплитуду толчка ответственны сильные перепады в геомагнитном поле, связанные с геомагнитной возмущенностью. Было введено понятие главного градиента (Седова и др., 2001) и показано, что: а) чем больше градиент, тем больше вероятность сильного землетрясения; б) чем глубже очаг, тем более длительный временной интервал от градиента в геомагнитном поле до землетрясения.

Землетрясения происходят в основном при пониженных значениях Н-составляющей или в непосредственной близости от него. В случае появления перед землетрясением пульсаций их период коррелирует с глубиной очага (Седова, Мозговая, в печати; Седова и др., 2001).

С учетом этих результатов, полученных нами ранее на большом статистическом материале, ниже детально проанализированы вариации геомагнитного поля в марте 1998 г., когда в Антарктиде произошло сильнейшее с 1957 г. землетрясение (25марта, время 03^h 12^m 25^s, h=10км, M=8.8, координаты: $\varphi=-62^{\circ}53'$, $\lambda=149^{\circ}32'$). Геомагнитная обстановка в этом же временном интервале исследовалась по наблюдениям на станции Академик Вернадский ($\varphi=65^{\circ}15'$, $\lambda=295^{\circ}45'$) с привлечением данных станций Дюмон-д'Юрвиль ($\varphi=-66^{\circ}40'$, $\lambda=140^{\circ}00'$) и Скот Бейс ($\varphi=-77^{\circ}51'$, $\lambda=166^{\circ}47'$) ближайших к толчку, а также среднеширотных обсерваторий в Бельске ($\varphi=51^{\circ}51'$, $\lambda=20^{\circ}48'$) и в Одессе ($\varphi=46^{\circ}47'$, $\lambda=30^{\circ}53'$).

3. Анализ геомагнитных вариаций

При изучении геомагнитной обстановки в связи с указанным выше землетрясением мы решили не ограничиваться анализом вариаций непосредственно перед ним, а детально проанализировать геомагнитное поле в предшествующие дни месяца. Среднесуточные величины ΣKp в январе, феврале, марте и апреле 1998 г были соответственно 12.2, 12.6, 17.6 и

15.1. То есть в марте среднесуточная по ΣK_p геомагнитная активность возросла по сравнению со смежными месяцами.

Землетрясение произошло в день, когда $\Sigma K_p=22$, т.е. по стандартной оценке геомагнитной активности день не примечательный. Так как K_p -индексы мало информативны для детального исследования связи сейсмичности с геомагнитной активностью, исходя из опыта ранее проделанных нами исследований (Седова, Мозговая, в печати; Седова и др., 2001), в качестве характеристики геомагнитной активности были приняты ежедневные экстремальные значения амплитуды горизонтальной Н-компоненты геомагнитного поля. Экстремальные значения определялись от фиксированной линии, условно принятой за нормальное поле.

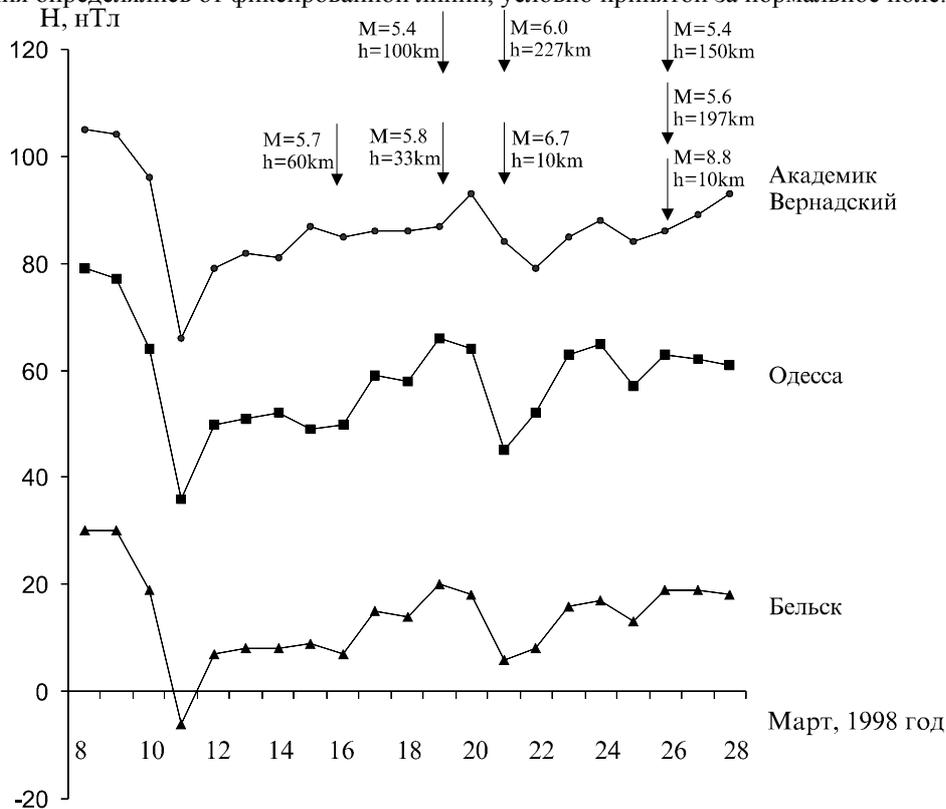


Рис.1. Среднесуточные экстремальные значения Н-компоненты геомагнитного поля.

Кривые среднесуточных экстремальных значений Н-составляющей приведены на рис.1, где отчетливо виден главный градиент (наибольший перепад поля) 11 марта, за которым следует три минимума в Н-составляющей. Именно на пониженные значения Н-составляющей приходятся наиболее сильные глубокофокусные землетрясения за представленный на рис. 1 период наблюдений (отмечены стрелками). На рис.1 можно выделить следующие особенности в поведении геомагнитных вариаций в связи с реализацией землетрясений.

Наиболее глубокофокусное землетрясение ($M=6.0$, $h=227$ км) произошло 21.03 при самом длительном по времени понижении Н-составляющей, которое по амплитуде было максимально в Одессе. Это среднеширотное землетрясение с координатами $\varphi=36^{\circ}26'$, $\lambda=70^{\circ}08'$.

Менее значительное по магнитуде и глубине очага ($M=5.7$, $h=60$ км) землетрясение 16.03 в средних широтах ($\varphi=49^{\circ}26'$, $\lambda=156^{\circ}00'$) приходится тоже на пониженный уровень Н-составляющей на среднеширотных станциях Одесса и Бельск. В то же время на станции Академик Вернадский понижение уровня Н-составляющей более продолжительное. На него

падают достаточно сильные землетрясения 19.03 – коровое ($M=5.8$, $h=33$ км, $\varphi=-19^{\circ}20'$, $\lambda=-176^{\circ}19'$) и глубокофокусное ($M=5.4$, $h=100$ км, $\varphi=-30^{\circ}05'$, $\lambda=-176^{\circ}11'$).

При пониженном уровне экстремальных значений H -составляющей 25 марта, который отмечался на всех трех станциях, зарегистрировано два глубокофокусных землетрясения $M=5.4$, $h=150$ км, время $02^h 44^m 16^s$ ($\varphi=7^{\circ}35'$, $\lambda=128^{\circ}68'$) и $M=5.6$, $h=197$ км, время $21^h 02^m 55^s$ ($\varphi=-24^{\circ}34'$, $\lambda=-66^{\circ}99'$) и сильнейшее коровое землетрясение в Антарктиде (время $03^h 12^m 25^s$, $M=8.8$, $h=10$ км, координаты: $\varphi=-62^{\circ}53'$, $\lambda=149^{\circ}32'$).

Таким образом, сейсмические характеристики выше упомянутых толчков коррелируют с уровнем и продолжительностью понижения экстремальных значений H -составляющей. Примечательно, что главный градиент 11.03 значительно слабее по сравнению с перепадом перед сильным ($M=7$) землетрясением в мае 1990 г в районе Вранча, детально описанным нами в (Седова и др., 2001). Результаты, проиллюстрированные на рис.1 подтверждают наши выводы, что большие перепады в геомагнитном поле (главный градиент) являются основным спусковым механизмом при реализации землетрясений.

Ежечасные экстремальные значения H -составляющей на станциях в непосредственной близости к очагу землетрясения – Скот Бейс (SBA) и Дюмон-д'Юрвиль (DRV) – приведены на рис. 2. Из графиков следует, что двум глубокофокусным землетрясениям 25 марта предшествуют характерные понижения экстремальных значений H -составляющей. Менее выраженное понижение прослеживаются и на среднеширотных станциях Академик Вернадский и Одесса. Как было нами ранее показано в (Седова и др., 2001), более глубокофокусные землетрясения происходят на более продолжительном понижении H -составляющей и имеют больший временной интервал от главного градиента до толчка. Показанное на рис. 2 поведение H -составляющей вполне согласуется с этими результатами. Это также согласуется с результатами исследования геомагнитного поля перед глубокофокусным землетрясением 12 мая 1990 г на обсерватории Какиока (Петрова и др., 1999). Отметим, что с понижением H -составляющей связаны не только сильные землетрясения, но и как показано в (Седова, Мозговая, в печати) слабые толчки в земной коре. Отсюда вероятно минимум H -составляющей 24.03 в период с 14 до 18 часов приурочен к двум землетрясениям – глубокофокусному ($h=150$ км) и коровому ($h=10$ км), а минимум 25.03 около 15 часов – к глубокофокусному землетрясению с $h=197$ км (рис.2).

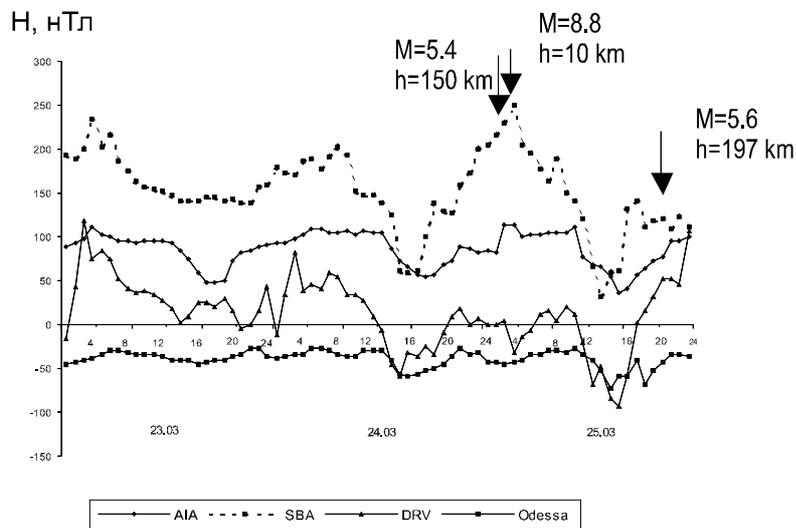


Рис. 2. Ежечасные экстремальные значения H -составляющей за период, предшествующий землетрясению 25 марта 1998 г.

4. Пульсации

Известно, что перед землетрясением происходит усиление геомагнитных PcS-пульсаций. Как было показано нами в (Кузнецова и др., 1997; Седова и др., 2001; Kuznetsova et al., 1999), в случае появления перед землетрясением в геомагнитном поле пульсаций их периоды коррелируют с глубиной очага. Несмотря на незначительную амплитуду (2-5нТл) пульсации достаточно отчетливо проявляются не только на цифровых записях, но и на магнитограммах даже при стандартной развертке (20 мм/час). Так, перед глубокофокусными среднеширотными землетрясениями, приведенными на рис.1, наиболее длиннопериодные пульсации на обсерватории Одесса отмечены 21 марта. Вначале, 20 марта, в течение двух часов (13^h30^s-15^h30^s) проявились пульсации с периодом T=1200 сек, затем в течение 70 минут (20^h30^s-21^h40^s) следует серия пульсаций с T=1080 сек. Перед землетрясением 16.03 (h=60км), приблизительно за 4 часа до толчка, на магнитограмме в период 12^h30^s-14^h30^s проявились пульсации с T=700 сек.. Наиболее слабому глубокофокусному землетрясению 25.03 (M=5.4, h=150км) приблизительно за 5 часов до толчка предшествуют пульсации с T=900 сек.

Перед сильнейшим землетрясением в Антарктиде 25 марта в вариациях геомагнитного поля на станции Академик Вернадский была зарегистрирована серия интенсивных пульсаций с T=80 сек в течение 25 минут, рис. 3. (02^h35^s-03^h00^s). Последующим менее сильным толчкам в близлежащем районе так же предшествовали аналогичные пульсации. Так перед толчком в 12^h17^m22^s (M=6.4, h=10км, φ=-63°36', λ=147°54') на протяжении 30 минут, с 08^h40^s до 9^h10^s, проявлялись пульсации с T=60-80 сек.. Толчку в 13^h14^m (M=5.8, h=10км, φ=-63°32', λ=147°50') на фоне иррегулярных колебаний с 11^h40^s до 12^h30^s, т.е. в течение 40-50 минут, предшествовали более слабые пульсации с периодом T=40-50 сек. Как правило, PcS отличаются слабой интенсивностью и, как отмечалось в (Гогатишвили, 1984; Kuznetsova et al., 1999), проявляются в основном в горизонтальной составляющей. В случае очень сильных землетрясений они надежно выделяются на всех трех составляющих геомагнитного поля. Для наглядности на рис.3 показан фрагмент записи пульсаций, предшествующих самому сильному коровому землетрясению 25 марта 1998 года в Антарктиде. Длительность проявления пульсаций по наблюдениям на станции Академик Вернадский соответствует среднестатистической продолжительности PcS-пульсаций от 40 мин до двух часов (Кузнецова и др., 1997). Это соответствует временному интервалу в нарушении критических частот в ионосфере перед сильными землетрясением (Гохберг и др., 1988; Липеровский и др., 5).

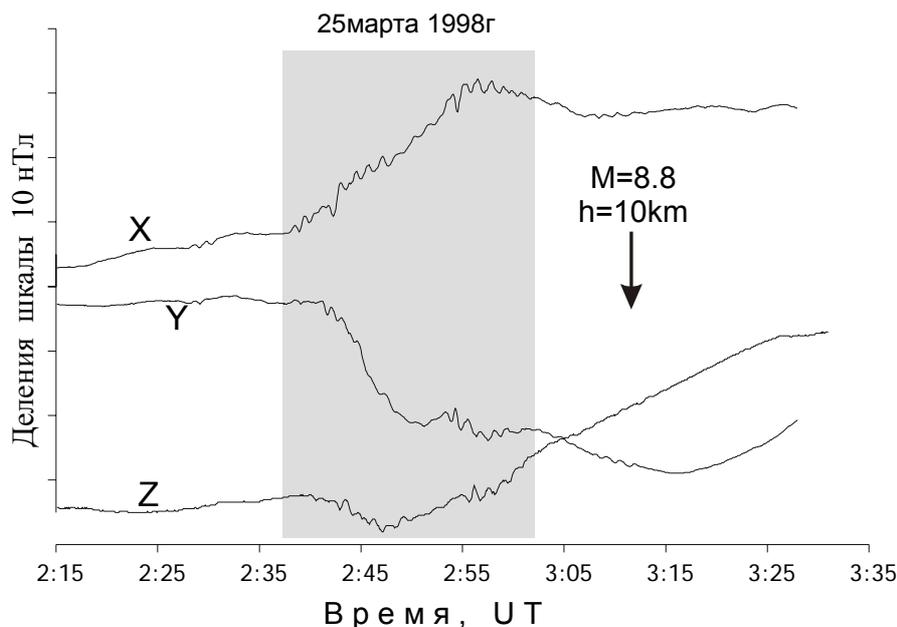


Рис.3. Запись пульсаций на станции Академик Вернадский, которые предшествовали сильнейшему коровому землетрясению в Антарктиде 25 марта 1998 года.

Конечно, по единичным землетрясениям нельзя судить о зависимости между периодом пульсаций и глубиной очага. Поэтому обратимся к результатам, полученным нами на большом статистическом материале по Альпийско-Гималайскому поясу сейсмичности (Кузнецова и др., 1997, Kuznetsova et al., 1999). В случае проявления пульсаций перед землетрясением в земной коре их период не превышает 120-180 сек. Периоды пульсаций, предшествующих коровым землетрясениям, описанным в настоящей статье, имеют такие же характеристические времена. Что касается пульсаций перед глубокофокусными землетрясениями в средних широтах, то их период, описанный выше по данным станции Одесса, не противоречит отмеченной связи с глубиной очага для землетрясений в Альпийско-Гималайском поясе сейсмичности (рис. 4). Для сравнения мы приводим данные за 1977 год, когда геомагнитная активность по ΣK_p в дни проявления пульсаций была такой же, как в марте 1998г ($\Sigma K_p < 20$). Рис. 4 подтверждает сделанные нами ранее выводы, что для каждой очаговой зоны существуют свои соотношения между периодом пульсаций и глубиной очага.

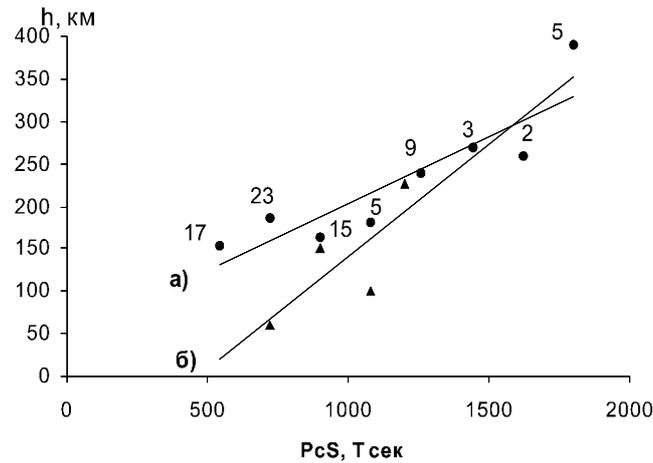


Рис. 4 Связь между периодами PcS-пульсаций и глубиной очага для глубокофокусных землетрясений: а) в Альпийско-Гималайском поясе сейсмичности; б) для описанных в статье среднеширотных землетрясений в марте 1998 г.

5. Выводы

При всей разнохарактерности поведения геомагнитного поля в период подготовки землетрясения, на основании приведенного выше фактического материала, включающего данные по станции Академик Вернадский, можно выделить определенные морфологические признаки и сделать ряд выводов, которые сводятся к следующему:

1. Прослеживается связь между значительными перепадами (градиентами) в Н-составляющей геомагнитного поля и магнитудой землетрясений. Чем больше градиент, тем больше вероятность сильного землетрясения.

2. Землетрясения приходятся в основном на пониженный уровень горизонтальной Н-составляющей. Чем более продолжительно и значительно понижение уровня, тем сильнее землетрясение и глубже его очаг.

3. Пульсации, проявившиеся перед землетрясениями, по спектру частот охватывают диапазон регулярных колебаний класса Pc. Меньшие периоды PcS-пульсаций ($T=40-80$ сек, но не более 120-180 сек) в течение 30-50 минут наблюдаются перед землетрясениями в земной коре. Глубокофокусным землетрясениям в геомагнитном поле предшествуют пульсации класса Pc5-6 ($T=500-900$ сек, до 1200 сек). Каждая очаговая зона, вероятно, характеризуется своим соотношением между периодом пульсаций и глубиной очага.

4. Геомагнитные вариации в целом – явление многофакторное. Не следует рассчитывать на выявление четких закономерностей между геомагнитными вариациями и землетрясениями для каких-либо единичных случаев. Связь между теми или иными параметрами, характеризующими геомагнитную активность, и основными характеристиками сейсмичности (M , h) можно выделить в основном по среднестатистическим данным. Результаты анализа геомагнитных вариаций в связи с конкретным коровым землетрясением 25 марта 1998 года в Антарктиде вполне укладываются в статистические зависимости между геомагнитными параметрами и основными характеристиками сейсмичности, полученные ранее для землетрясений в очагах Альпийско-Гималайского пояса сейсмичности.

Благодарность. Авторы искренне признательны Украинскому антарктическому центру за предоставленные материалы наблюдений геомагнитных вариаций на станции Академик Вернадский.

Литература

- Барсуков О.М.** Солнечные вспышки, внезапные начала и землетрясения. // Физика Земли. - 1991. - №12. - С. 93-96.
- Гогатишвили Я.М.** Геомагнитные предвестники интенсивных землетрясений в спектре геомагнитных пульсаций с частотами 1-0. 02 Гц. // Геомагнетизм и аэрономия. - 1984. - XXIV, №14. - С. 697-700.
- Гохберг М.Б.,** Кустов А.В., и др. О возмущениях в F-области ионосферы перед сильными землетрясениями. // Изв. АН СССР, Физика Земли. - 1988. - №4. - С. 12-20.
- Кузнецова В.Г.,** Максимчук В.Ю., Городиский Ю.М. и др. Комплекс наземных спостережень для вивчення аномальних електромагнітних явищ, пов'язаних із землетрусами. // Космічна наука і технологія. - 1997. - Т.3, №1\2. - С. 34-42.
- Липеровский В.А.,** Гладышев В.А., Шалимов С.С. Литосферно-ионосферные связи перед землетрясениями. // Изв. АН СССР, Физика Земли. - 1991. - №3. - С. 26-35.
- Моргунов В.А.** Реальности прогноза землетрясений. // Физика Земли. - 1999. - №1. - С. 79-91.
- Петрова А.А.,** Копытенко Ю.В., Комаровских Н.И. К особенностям структуры геомагнитных вариаций сопровождающих землетрясения. // Геомагнетизм и аэрономия. - 1999. - Т.39, №5. - С. 115-120.
- Седова Ф.И.,** Мозговая Т.А. Анализ геомагнитных вариаций в связи с землетрясениями в Крымско-Черноморском регионе. // Геофиз. журнал. - 2003, (в печати).
- Седова Ф.И.,** Мозговая Т.А., Бахмутов В.Г. О морфологических признаках в структуре геомагнитных вариаций накануне и в момент землетрясения в Крымско-Черноморском и Карпатском регионах. // Геофиз. журнал. - 2001. - Т.23, №4. - С. 61-68.
- Сытинский А.Д.** Связь сейсмичности Земли с солнечной активностью. Л.: Гидрометиздат, 1987. - С.99.
- Харченко Г.Е.,** Исиченко Е.П., Лазаренко М.И. Проблемы прогнозирования землетрясений на Украине и пути ее решения. // Геофиз. журнал. - 1980. - Т.2, №16. - С. 106-112.
- Kuznetsova V., Sedova F., Bilinsky A.** Anomalous Peculiarities of Short-Period Geomagnetic Variations and their Connection with Seismicity. Atmospheric and Ionospheric Electromagnetic Phenomena Associated with Earthquakes. Tokyo, 1999. - P. 183-187.